



“Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de graduación

**Evaluación de la eficiencia agronómica y
económica de uso del nitrógeno en el cultivo de
maíz (*Zea mays* L.) variedad SEMSA “TEPEYAC”,
Yalagüina, Madriz, Nicaragua, 2017**

AUTORES

Br. Joan Karol Aguirre Valdivia

Br. Cristhel Sugey Vargas Gutiérrez

ASESORES

Ing. MSc. Leonardo García Centeno

Ing. MSc. Reynaldo Bismark Mendoza

Managua, Nicaragua,

Noviembre, 2018



“Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de graduación

**Evaluación de la eficiencia agronómica y
económica de uso del nitrógeno en el cultivo de
maíz (*Zea mays* L.) variedad SEMSA “TEPEYAC”,
Yalagüina, Madriz, Nicaragua, 2017**

AUTORES

Br. Joan Karol Aguirre Valdivia

Br. Cristhel Suguey Vargas Gutiérrez

**Presentado a la consideración del honorable tribunal
examinador como requisito final para optar al título de
Ingeniero Agrónomo.**

Managua, Nicaragua

Noviembre, 2018

DEDICATORIA

A **Dios**, por haberme regalado la sabiduría, el entendimiento y las capacidades necesarias para poder culminar esta etapa académica de mi vida, por llenar día a día de bendiciones para mi vida y quienes la rodean además de su infinita bondad y amor.

A mis padres **Francisco José Aguirre Cajina** y **Digna Valdivia González**, por ser un pilar fundamental en mi vida, por todo el cariño, afecto y amor que me regalan siempre; por los consejos que me brindaron en todo el transcurso de mi vida y por todos los sacrificios que hicieron para llegar hasta este punto de mi vida.

A mi novia **María Elsie Tinoco Mejía**, por todo su apoyo incondicional, por todos esos consejos que me dio en los momentos de estrés e incertidumbre, por motivarme a salir adelante en esta vida y por ser un gran ejemplo a seguir.

A **todos** aquellos que de alguna u otra forma hicieron posible el poder culminar esta etapa de mi vida.

Br. Joan Karol Aguirre Valdivia

DEDICATORIA

Dedicada principalmente a **Dios** “Yo sé que fuiste tú” quien me regalo fuerza y sabiduría para culminar una de mis mayores metas, para vencer los obstáculos y obtener este logro.

A mi querida madre, **Irma del Socorro Gutiérrez Pérez** que siempre me ha apoyado y es mi mayor motivación para lograr mis metas.

“Padre no es el que engendra, sino el que cría y ama a sus hijos”. A mi abuelito **Ildefonso Gutiérrez** por su apoyo, su amor y sus consejos, por esos recuerdos de padre que llevaré toda mi vida.

A mi abuela **Felicita Pérez**, por su apoyo, su cariño y sus consejos.

A mi papá **Ramón Antonio Vargas Vegas**, por su apoyo.

A mi novio **Axel Magdiel López Arias** por motivarme a continuar día a día, por sus consejos y amor brindado durante el transcurso del tiempo.

A mis **amigas y amigos** que me han brindado el regalo más hermoso “Su amistad”, sus consejos, apoyo, e hicieron de mis lágrimas sonrisas.

Br. Cristhel Suguey Vargas Gutiérrez

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a **Dios** le agradecemos infinitamente porque el haber podido culminar nuestra tesis es una gran bendición para nosotros; por la vida y por los proyectos futuros que nos tiene preparado.

Al programa de **Catholic Relief Services (CRS)**, por haber financiado nuestro trabajo de investigación y por darnos la oportunidad de realizarlo con esta organización.

A la **Universidad Nacional Agraria** por brindarnos los medios necesarios para nuestra formación y por albergar a todas esas personas que hicieron posible culminar nuestros estudios y formaron parte de nuestra vida académica.

A nuestros asesores, **Ing. MSc. Leonardo García** e **Ing. MSc. Bismarck Mendoza** por su apoyo, paciencia y conocimientos brindados.

A nuestros **profesores(as)** que nos regalaron una buena formación, transmitieron sus conocimientos y nos brindaron su apoyo, les agradecemos de corazón, estamos muy orgullosos de cada uno de ellos(as).

Cariñosamente a nuestra compañera **Cesil Karelía Martínez Juárez** por su apoyo incondicional e incalculable, por su paciencia y dedicación en todo momento que lo necesitamos.

Br. Joan Karol Aguirre Valdivia

Br. Cristhel Suguey Vargas Gutiérrez

CONTENIDO

Sección	Página
ÍNDICE DE CUADROS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
ÍNDICE DE ANEXOS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos	3
III. MATERIALES Y METODOS	4
3.1 Descripción del sitio del experimento	4
3.1.1 Características del suelo de la zona	4
3.1.2 Condiciones climáticas de la zona de estudio	5
3.1.3 Socio-economía de la zona	5
3.2 Descripción del diseño experimental y los tratamientos	5
3.3 Manejo agronómico del cultivo	6
3.3.1 Siembra	6
3.3.2 Densidad poblacional	6
3.3.3 Fertilización	6
3.3.4 Control de malezas	7
3.3.5 Control de plagas	7
3.4 Características del material utilizado	7
3.5 Variables a evaluar	7
3.6 Análisis estadístico	10

IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
4.1	Influencia de las dosis de nitrógeno aplicadas en las variables de crecimiento	11
4.1.1	Altura de planta	11
4.1.2	Diámetro de planta	11
4.1.3	Número de hojas por planta	12
4.2	Influencia de las dosis de nitrógeno sobre las variables de rendimiento	13
4.2.1	Número de granos por hilera	13
4.2.2	Número de hileras por mazorca	14
4.2.3	Peso de 1000 semillas	15
4.2.4	Biomasa total	16
4.2.5	Rendimiento del grano	17
4.2.6	Porcentaje de nitrógeno en la biomasa	18
4.2.7	Porcentaje de nitrógeno en grano	19
4.3	Uso eficiente del nitrógeno	21
4.3.1	Incremento del rendimiento del grano entre tratamiento	24
4.3.2	Dosis óptima económica (DOE)	25
V.	CONCLUSIONES	26
VI.	RECOMENDACIONES	27
VII.	LITERATURA CITADA	28
VIII.	ANEXOS	35

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Análisis químico del suelo de la parcela experimental en la finca El Aguacate, Yalagüina 2017	4
2. Listado de factores en estudio	6
3. Fertilización utilizada en el ensayo experimental	7
4. Efecto de las dosis de nitrógeno aplicadas en la variable altura de la planta (cm)	11
5. Efecto de las dosis de nitrógeno aplicadas en la variable diámetro de la planta (cm)	12
6. Efecto de las dosis de nitrógeno aplicadas en la variable número de hojas en la planta	13
7. Efecto de las dosis de nitrógeno aplicadas en la variable granos por hilera de la mazorca	14
8. Efecto de las dosis de nitrógeno aplicadas en la variable número de hileras por mazorca	15
9. Efecto de las dosis de nitrógeno aplicadas en la variable peso de 1000 semillas (g)	16
10. Efecto de las dosis de nitrógeno aplicadas en la variable biomasa total	17
11. Efecto de las dosis de nitrógeno aplicadas en la variable rendimiento del grano	18
12. Efecto de las dosis de nitrógeno aplicadas en la variable % de nitrógeno en la biomasa	19
13. Efecto de las dosis de nitrógeno aplicadas en la variable % de nitrógeno en el grano	20
14. Valores de los índices agronómicos del uso eficiente del Nitrógeno	23
15. Incremento de rendimiento de grano por tratamiento en porcentaje y kilogramos por hectárea	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Comportamiento de la precipitación y la temperatura durante el estudio, Yalaguina-Madriz.	5
2. Estimación de dosis óptima económica con diferentes modelos de regresión.	25

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo	Página
1. Plano de campo del diseño experimental	35
2. Cultivo de maíz, var. SEMSA TEPEYAC a los 35 dds.	35
3. Cosecha con su respectivo tratamiento	36
4. Cultivo de maíz, var. SEMSA TEPEYAC a los 35 dds con Don Tomas Cruz.	36
5. Toma de datos a los 84 dds	36
6. Limpieza de las muestras para su traslado al laboratorio	36
7. Colecta de muestras para análisis de laboratorio	36

RESUMEN

Con el propósito de evaluar la eficiencia del nitrógeno en el cultivo de maíz SEMSA “TEPEYAC” en época de primera, fue establecido el ensayo experimental en la finca El Aguacate, comunidad San Antonio, municipio de Yalagüina, Tlaxcala. Donde se evaluaron el efecto de las dosis de 0, 75, 100 y 125 kg N ha⁻¹ sobre el crecimiento, rendimiento, contenidos de N en la biomasa, grano y el uso eficiente del nitrógeno. El ensayo se estableció el 26 de mayo del 2017 y se utilizó un diseño unifactorial, con tres repeticiones en bloques completos al azar. Fue aplicado un análisis de varianza y separación de medias de Tukey al 95 % de confiabilidad, y analizado en InfoStat. También fue analizada la dosis óptima económica a través de la Herramienta (CNRT) v 4.1. Los resultados obtenidos muestran que la dosis aplicada de 125 kg de N ha⁻¹ incrementa significativamente el rendimiento en biomasa, grano y contenido de N en biomasa, aunque el crecimiento vegetativo fuese similar entre los tratamientos. Al evaluar el uso eficiente del nitrógeno, los índices eficiencia agronómica y de recuperación incrementaron a mayores aplicaciones de fertilización (125 kg N ha⁻¹), y el índice actor parcial de productividad fue mayor cuando se aplicó (75 kg N ha⁻¹). Sin embargo, los índices eficiencia fisiológica, eficiencia interna de utilización y balance parcial de nutrientes no fueron afectados por las dosis de fertilización nitrogenada. La óptima dosis económica, para obtener un rendimiento aceptable es a 100 kg N ha⁻¹, estimada con el modelo esférico-plateau.

Palabras clave: eficiencia agronómica, rendimiento, fertilización nitrogenada, dosis óptima

ABSTRACT

In order to evaluate the efficiency of nitrogen in the SEMSA "TEPEYAC" corn crop during the first season, an experimental trial was established at El Aguacate farm, community of San Antonio, municipality of Yalagüina, Matriz. Where the effect of the doses of 0, 75, 100 and 125 kg N ha⁻¹ on the growth, yield, N contents in the biomass, grain and the efficient use of nitrogen were evaluated. The trial was established on May 26, 2017 and a single factorial design was used, with three repetitions in randomized complete blocks. It was applied an analysis of variance and separation of Tukey means 95% of test, and analyzed in InfoStat. The optimal economic dose was also analyzed through the Tool (CNRT) v 4.1. The results obtained show that the applied dose of 125 kg of N ha⁻¹ significantly increases the yield in biomass, grain and N content in biomass, although the vegetative growth was similar between the treatments. When evaluating the efficient use of nitrogen, the Agronomic Efficiency and Recovery indices increased to greater applications of fertilization (125 kg N ha⁻¹), and the Partial Factor of Productivity Index was higher when applied (75 kg N ha⁻¹) However, the indices Physiological Efficiency, Internal Efficiency of Utilization and Partial Balance of Nutrients were not affected by the doses of nitrogenous fertilization. The optimum economic dose, to obtain an acceptable yield is 100 kg N ha⁻¹, estimated with the spherical-plateau model.

Keywords: agronomic efficiency, yield, nitrogen fertilization, optimal dose

I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.), es un cultivo que se puede sembrar todo el año, en tres épocas de siembra: primera, postrera y apante. Es el cereal nutritivo básico en la alimentación humana, debido al aporte en calorías y proteínas. El grano de maíz está constituido por: 77% almidón, 2% azúcares, 9% proteínas, 5% aceites, 5% pentosanas y 2% ceniza. El maíz es un producto relevante en la dieta de los nicaragüenses, el que es consumido por el 80 por ciento de la población en forma de tortilla, representa cerca de 29 por ciento de la energía dietética del nicaragüense. (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria, 2010).

La producción de maíz en nuestro país está en manos de pequeños y medianos productores y está destinada principalmente al consumo familiar, para el comercio o consumo interno de nuestro país. El maíz es también utilizado como materia prima en la elaboración de productos alimenticios procesados (rosquillas, reposterías, dulces, bebidas) y para la elaboración de concentrados o alimentos para aves y cerdos. (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria, 2000).

En Nicaragua más del 60% de la tierra en uso agrícola o ganadero se encuentra en zonas montañosas. De estas el 32% del total de tierra utilizada (suelo agrícola, pastos y bosques) se encuentra sujeta a fenómenos de degradación. Este fenómeno se encuentra bien marcado en las comunidades rurales del norte del país, tomando en cuenta que en estas comunidades la principal actividad económica es la agricultura, principalmente de granos básicos, destinado al autoconsumo y el mercado nacional. La producción de maíz, se caracteriza por ser una actividad de pequeños productores. El maíz se ha cultivado históricamente en función de la dieta alimenticia básica del nicaragüense (Mena & Delmelle., 2017).

El nitrógeno interviene en el desarrollo de la planta del maíz, es uno de los principales elementos en la síntesis de proteína, la cual es indispensable para lograr un buen crecimiento, desarrollo y rendimiento en el cultivo del maíz. (Salmerón y García, 1994).

Entre los elementos minerales esenciales, el nitrógeno (N) es el que con más frecuencia limita el crecimiento y el rendimiento del maíz. Esta condición ocurre porque las plantas requieren cantidades relativamente grandes de N (de 1.5 a 3.5% de peso seco de la planta) y porque la mayoría de los suelos no cuentan con suficiente N en forma disponible para

mantener los niveles deseados de producción. Debido a que la deficiencia de N puede disminuir el rendimiento y la calidad del grano, es necesario tomar medidas para asegurar que niveles adecuados de N estén disponibles para las plantas.

Estimaciones globales sugieren que los fertilizantes nitrogenados cubren el 80% del costo total de fertilizantes y el 30% de toda la energía asociada con la producción agrícola moderna de maíz (Stangel, 1984).

Los productores de maíz reconocen que son necesarias concentraciones adecuadas de N en la planta para obtener altos rendimientos, sin embargo, el dilema está en conocer que cantidades aplicar para lograr estas concentraciones. Este problema resulta del complejo ciclo del N en la naturaleza que posibilita pérdidas del nutriente cuando se desplaza por debajo del sistema radicular. La situación se complica más por problemas mecánicos asociados a aplicaciones de fertilizante nitrogenado y por la incertidumbre de las condiciones meteorológicas, especialmente la disponibilidad de agua. El N del fertilizante que no es aprovechado produce, además del perjuicio económico, daño ambiental por pérdida del nutriente a capas inferiores del perfil del suelo. Las pérdidas excesivas de fertilizante nitrogenado de los cultivos pueden contaminar las aguas profundas con nitrato (Carpenter et al., 1998; Burkart y James, 1999 citado por Below, 2002).

Con el creciente interés de la opinión pública en la calidad ambiental aumentan también las presiones sobre los agricultores en mejorar el manejo del N. Con la adopción creciente de prácticas de conservación de suelos también aumentarán las prácticas relacionadas con mejor manejo del fertilizante nitrogenado.

El propósito de este trabajo es evaluar el uso eficiente del nitrógeno en el cultivo del maíz, en la zona de Yalagüina mediante un ensayo experimental; de manera que la información contribuya al uso adecuado de los fertilizantes nitrogenados.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Evaluar la eficiencia de uso del nitrógeno en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el ciclo de primera, en el municipio de Yalagüina departamento de Madriz.

2.2 Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de las diferentes dosis de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento y rendimiento del maíz.
- Determinar los contenidos de N en la biomasa y el grano de maíz.
- Evaluar el uso eficiente del nitrógeno en maíz respecto a las dosis a aplicar.
- Estimar la dosis óptima económica del fertilizante nitrogenado.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Descripción del sitio del experimento

El trabajo se realizó en la finca El Aguacate del productor José Tomás Cruz, en la comunidad de San Antonio, municipio de Yalagüina, Madriz; cuyas coordenadas comprenden 13°28'36.8" Latitud Norte y 86°31'39.1" Longitud Oeste. Donde la cabecera municipal se ubica a 694 msnm, y se estableció en época de primera del año 2017.

3.1.1 Características del suelo de la zona

Según el INTA (2006) los suelos de Yalagüina se clasifican dentro del orden Entisol, son suelos minerales de desarrollo reciente, que sus horizontes no presentan aún características bien definidas de suelos (horizontes alterados, en proceso de meteorización), aunque hay casos en que se encuentra un horizonte de poco espesor que indica un grado de evolución muy incipiente; natural, moderadamente profundos a muy superficiales. La textura presente en el sitio del experimento es arcillosa; las propiedades químicas del suelo se describen en el siguiente Cuadro:

Cuadro 1. Análisis químico del suelo de la parcela experimental en la finca El Aguacate, Yalagüina 2017

					Bases						Relaciones catiónicas			
pH	MO	N	P-disp	CE	K	Ca	Mg	Na	CIC	SB	Mg/K	Ca/Mg	Ca/K	(Ca+Mg)K
H ₂ O	%		ppm	µS/cm	meq/100 g suelo					%	ppm			
7.22	2.51	0.12	28.6	62.87	1.62	21.14	5.46	0.45	39.14	73.26	3.37	3.87	13.05	16.42

Fuente: Base de datos de Catholic Relief Services (CRS) 2016

3.1.2 Condiciones climáticas de la zona de estudio

La región se caracteriza por tener un clima de sabana tropical seco de altura, la precipitación tiene un promedio anual que oscila entre 1,000 y 1,200 mm, caracterizado por una buena distribución durante todo el año, la temperatura anual oscila entre los 23 y 24 °C.

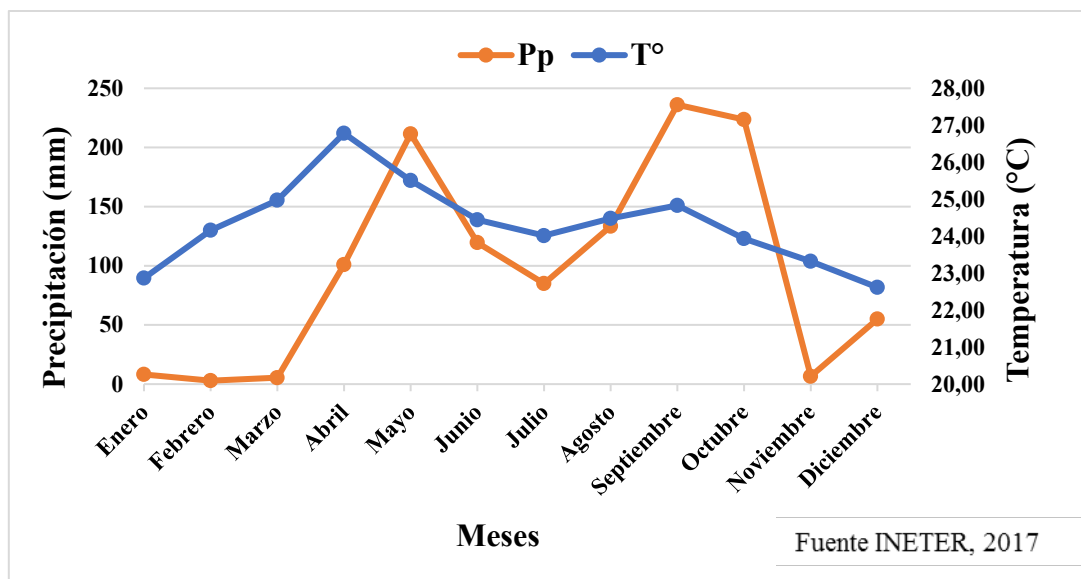


Figura 1. Comportamiento de la precipitación y la temperatura durante el estudio, Yalaguina-Madriz.

3.1.3 Socio-economía de la zona

El 51% de las familias dependen de la producción agropecuaria para el auto consumo familiar, en la que destaca la producción de granos básicos (maíz, frijol, sorgo) un mínimo porcentaje de productores se dedican al cultivo de hortalizas (tomate, repollo), los que comercializan en Estelí, Somoto y Ocotal. El resto son asalariados, que emigran a otros municipios en busca de trabajo para su manutención. Con relación a los productores, estos trabajan sin financiamiento debido a que sus tierras tienen bajo rendimiento productivo ocasionado por las sequías, así como por el huracán Mitch.

3.2 Descripción del diseño experimental y los tratamientos

El ensayo de campo se realizó en la época de primera, el arreglo es unifactorial, con tres repeticiones en bloques completos al azar (BCA). Los tratamientos se distribuyeron en surcos espaciados a 0.7 m entre surco y 0.20 m entre planta; la distancia de los surcos fue de 4 m en

cada parcela. El área de los bloques fue de 19 m de largo por 4 m de ancho que será igual a 76 m², siendo el área total del experimento de 266 m².

La variedad de maíz utilizada fue SEMSA “TEPEYAC”, con cuatro niveles de nitrógeno como se describe en el siguiente cuadro:

Cuadro 2. Listado de factores en estudio

Tratamientos	Descripción de los tratamientos (kg N ha ⁻¹)
n ₀	Sin aplicación de nitrógeno (testigo)
n ₁	75
n ₂	100
n ₃	125

3.3 Manejo agronómico del cultivo

3.3.1 Siembra

Se realizó el 26 de mayo de forma manual después del pase de arado, depositando sobre la raya dos semillas por golpe cada 20 cm, luego se tapó con el pie.

3.3.2 Densidad poblacional

La distancia entre surco fue de 70 cm y la distancia entre planta de 20 cm, de esta manera se obtuvo una densidad de aproximadamente 71,425 plantas ha⁻¹. Para asegurar esta densidad de plantas a cosechar fue necesario poner entre 6 y 8 semillas por metro lineal para después ralearlo.

3.3.3 Fertilización

Al momento de la siembra se realizó una fertilización básica donde se aplicó 50 kg ha⁻¹ de fósforo y potasio. La aplicación de nitrógeno se hizo de manera fraccionada, a la siembra se aplicó el 30% y a los 35 dds el 70%, donde se detalla en el cuadro 3 las cantidades y el tipo de fertilizante aplicado.

Cuadro 3. Fertilización utilizada en el ensayo experimental

Tratamientos (kg N ha ⁻¹)	Dosis (kg ha ⁻¹)		Fuente
	Siembra (N+P+K)	35 dds (N)	
n ₀ : 0	0+50+50	0	18-46-0 + KCl 60%
n ₁ : 75	22.5+50+50	52.5	18-46-0 + Urea 46% + KCl 60%
n ₂ : 100	30+50+50	70	18-46-0 + Urea 46% + KCl 60%
n ₃ : 125	37.5+50+50	87.5	18-46-0 + Urea 46% + KCl 60%

3.3.4 Control de malezas

El control de malezas se realizó de forma manual con azadón y machete, desde la siembra hasta que el cultivo cerró calle. Al momento de la floración se intensificó la presencia de campanita (*Ipomoea purpurea* L.), por lo que fue necesario un mayor control para facilitar la cosecha.

3.3.5 Control de plagas

Se realizó un monitoreo constante en el cultivo, de esta forma se pudo tomar decisiones sobre que método utilizar para controlar todas las plagas y enfermedades que atacaron al cultivo del maíz.

A los 40 dds se observó una fuerte presencia del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* Walker), para su control se utilizó azúcar, de manera que se aplicó en el cogollo donde se encontraba el gusano provocando un daño físico a este lo que ocasiono su muerte, obteniendo buenos resultados en su control.

3.4 Características del material utilizado

El material evaluado fue SEMSA TEPEYAC, siendo esta una variedad de maíz mejorada de grano blanco, de alta calidad de proteína y zinc desarrollada en colaboración con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y Semillas Mejoradas S.A (SEMSA), Nicaragua. Su siembra se recomienda para la época de Primera, Postrera y Apante.

3.5 Variables a evaluar

Durante el crecimiento del cultivo, a los 35 y 84 dds se seleccionaron 6 plantas al azar, por parcela útil, y se midieron las siguientes variables:

Altura de la planta (cm): al momento de cada muestreo, se midió desde el punto de inserción de las raíces hasta la base de la panoja en cada planta.

Diámetro del tallo (cm): se determinó con el pie de rey, entre el primer y segundo entrenudo, a los 35 días y después 84 dds.

Número de hojas por planta: se contaron las hojas funcionales de la planta, esta variable se evaluó en dos momentos a los 35 días y después 84 dds.

A la cosecha se midieron las siguientes variables, tomando los dos surcos del centro de cada parcela, cosechando solamente los 2 metros lineales del centro de cada surco (4 metros lineales por parcela):

Número de granos por hilera: a cada mazorca de las 6 seleccionadas se les contabilizó el número total de granos por hilera, seguido del cálculo del valor promedio.

Número de hileras por mazorca: a cada mazorca de las 6 seleccionadas se les contabilizó el número de hileras, posteriormente se determinó el valor promedio por mazorca.

Peso de 1000 semillas: esta variable se determinó siguiendo las reglas del ISTA (1995) donde se tomaron ocho réplicas de 100 semillas de cada parcela útil. Después se pesó cada réplica por separado y se calculó el valor promedio. Dicho promedio se multiplicó por diez para obtener el peso de mil granos.

Biomasa (kg ha^{-1}): al momento de la cosecha se tomaron cuatro metros lineales de la parcela útil, donde se registró el peso fresco, posteriormente se introdujo al horno una muestra de 500 g a 65°C por 72 horas y se registró el peso seco, por último, el resultado se expresó en kg ha^{-1} .

Rendimiento de grano (kg ha^{-1}): esta variable se calculó a nivel de parcela. Luego de cosechar las mazorcas, se procedió al secado natural, para posteriormente desgranarla de forma manual. Después se utilizó el aparato Dole 400 para medir la humedad de cada muestra y el peso se ajustó al 14% de humedad, finalmente el resultado se extrapoló para ser expresado en kilogramos por hectárea.

Nitrógeno en la biomasa (%): de la misma muestra tomada para determinar la materia seca producida, se trasladó una muestra homogenizada al Laboratorio de Suelo y Agua de la UNA para determinar el porcentaje de nitrógeno por el método semi-micro Kjeldahl.

Nitrógeno en el grano (%): se utilizó una muestra de grano de 200 g en la parcela útil, el método a utilizar fue el mismo con el cual se determinó el porcentaje de nitrógeno en la biomasa.

Con los datos obtenidos de rendimiento de grano, biomasa y sus respectivos porcentajes de N, se calculó el uso eficiente del nitrógeno y la cantidad de grano producido por kg de fertilizante aplicado utilizando las siguientes fórmulas de Índices agronómicos de uso eficiente de N (Dobermann, 2007).

- Factor parcial de productividad

$$FPP = \frac{R}{F}$$

- Eficiencia agronómica del N aplicado

$$EA = \frac{(R - Ro)}{F}$$

- Eficiencia aparente de recuperación del N

$$ER = \frac{(U - Uo)}{F}$$

- Eficiencia fisiológica

$$EF = \frac{(R - Ro)}{(U - Uo)}$$

- Eficiencia interna de utilización

$$EI = \frac{R}{U}$$

- Balance parcial de N (relación de remoción a uso de N)

$$BPN = \frac{Uc}{F}$$

Donde:

R = Rendimiento del cultivo con aplicación de fertilizantes.

R_0 = Rendimiento del cultivo sin aplicación de fertilizantes.

F = Dosis de fertilizante.

U = Acumulación total del N de la biomasa con aplicación de N.

U_0 = Acumulación total del N de la biomasa sin aplicación de N.

U_c = Contenido de N de la porción cosechada del cultivo.

Dosis Óptima Económica (DOE): se determinó con la Herramienta para respuesta de cultivos a los nutrientes (CNRT) v4.1, elaborada por el International Plant Nutrition Institute (IPNI) que es utilizada para estimar la dosis óptima económica de aplicación de nutrientes. Dentro de los datos que se necesitaron están el rendimiento obtenido por tratamiento, las dosis utilizadas, el precio del fertilizante, y el precio de venta del grano cosechado.

3.6 Análisis estadístico

La evaluación estadística de los datos obtenidos de las variables en estudios se realizó por medio del análisis de varianza (ANDEVA) y separación de medias por la prueba de rangos múltiples de Tukey al 95 % de confiabilidad, corriendo los datos en los programas estadísticos InfoStat versión libre.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Influencia de las dosis de nitrógeno aplicadas en las variables de crecimiento

4.1.1 Altura de planta

La altura de la planta de maíz es una característica fisiológica de gran importancia en el crecimiento y desarrollo de la planta, es indicativo de la velocidad de crecimiento y puede verse afectada por la acción conjunta de los tres factores fundamentales: luz, humedad y nutrientes (Vaz y Leiva, 2015).

En el Cuadro 4, el análisis estadístico realizado para la variable altura de planta, indicó que no existe efecto significativo en las dos fechas evaluadas. Desde el punto de vista agronómico la altura de la planta es importante, porque es un parámetro que nos permite medir de una forma cuantificable el crecimiento del cultivo.

Cuadro 4. Efecto de las dosis de nitrógeno aplicadas en la variable altura de la planta (cm)

Tratamientos (kg N ha ⁻¹)	35 dds	84 dds
n₃: 125	58,44 a	184,87 a
n₁: 75	55,28 a	178,33 a
n₂: 100	53,67 a	176,17 a
n₀: 0	53,06 a	169,57 a
ANDEVA	NS	NS
C.V %	14,27	8,13

dds: días después de la siembra; **NS:** no hay significancia

4.1.2 Diámetro de planta

Según Blessing y Hernández (2009), el diámetro del tallo es un parámetro de gran importancia en las plantaciones de maíz, ya que influye sobre el doblamiento de los tallos cuando son afectados por fuertes vientos. También afirman que las altas densidades de siembra y la competencia por luz con las malezas provocan una elongación de los tallos, entrenudos más largos y plantas más altas, reduciendo el grosor del tallo y aumentando las

posibilidades de acame de las plantas. Los tallos delgados es un símbolo de raquitismo por deficiencia nutricional del vegetal.

De acuerdo al Análisis de Varianza (Cuadro 5), se encontró diferencia significativa en los tratamientos solamente a los 35 dds, es decir que, a mayor dosis de nitrógeno, mayor es el diámetro de la planta. Esto concuerda con lo mencionado por Arzola *et al.* (1981) afirmando que las altas dosis de nitrógeno influyen positivamente en el diámetro de la planta.

Cuadro 5. Efecto de las dosis de nitrógeno aplicadas en la variable diámetro de la planta (cm)

Tratamientos (kg N ha ⁻¹)	35 dds	84 dds
n₃: 125	2,77 a	1,88 a
n₂: 100	2,53 ab	1,70 a
n₁: 75	2,52 ab	1,72 a
n₀: 0	2,28 b	1,61 a
ANDEVA	*	NS
C.V %	5,74	6,40

dds: días después de la siembra; NS: no hay significancia, *: efecto significativo

4.1.3 Número de hojas por planta

Las hojas son órganos verdes que salen del tallo y que tienen dos importantes funciones en la vida del vegetal, la fotosíntesis, destinada a la elaboración de materia orgánica y la transpiración, destinada a eliminar el exceso de agua.

Todas las hojas de la planta se forman durante los primeros 30 a 37 días de edad y se desarrollan antes que otros órganos superficiales como el tallo, las hojas se diferencian por tamaño, color y pilosidad, su número está influenciado por la densidad poblacional. Además, esta variación se encuentra relacionada con la variedad, la edad y las condiciones ambientales como luz y humedad (Somarriba, 1998).

Los resultados para la variable número de hojas por planta, según el ANDEVA, (Cuadro 6) los tratamientos no mostraron efectos significativos, es decir, que las aportaciones de nitrógeno tienen poca influencia en el número de hojas.

Cuadro 6. Efecto de las dosis de nitrógeno aplicadas en la variable número de hojas en la planta

Tratamientos (kg N ha ⁻¹)	35 dds	84 dds
n₂: 100	6 a	9 a
n₁: 75	6 a	9 a
n₃: 125	6 a	9 a
n₀: 0	5 a	9 a
ANDEVA	NS	NS
C.V %	6,85	6,04

dds: días después de la siembra; NS: no hay significancia

4.2 Influencia de las dosis de nitrógeno sobre las variables de rendimiento

4.2.1 Número de granos por hilera

El número de granos por hileras está influenciado por el número de óvulos por hileras y a su vez por la alimentación mineral e hídrica, así como por la densidad y la profundidad de las raíces, se sabe que adecuadas dosis de nitrógeno tienen influencias positivas sobre los componentes de los rendimientos entre ellos el número de granos por hilera (Blandón y Smith, 2001).

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados (Cuadro 7), indicando que a medida que se incrementan los niveles de nitrógeno incrementó el número de granos por hilera, estos multiplicados por el número total de mazorcas tienen un peso importante en el rendimiento final.

Estos resultados corroboran lo dicho por Lemcoff y Loomis (1986), donde señalan que el número de granos por hilera en el maíz está fuertemente influenciado por el suministro de nitrógeno. Sin embargo, otro factor que tiene influencia en esta variable es el manejo agronómico del cultivo, ya que según el INTA (2000), cuando se mantiene el maíz libre de malezas, se facilita la polinización y se desarrolla un mayor número de granos por hileras.

Cuadro 7. Efecto de las dosis de nitrógeno aplicadas en la variable granos por hilera de la mazorca

Tratamientos (kg N ha ⁻¹)	\bar{X}
n₃: 125	34 a
n₂: 100	32 ab
n₁: 75	31 ab
n₀: 0	25 b
ANDEVA	*
C.V %	9,89

*: efecto significativo

4.2.2 Número de hileras por mazorca

Según Centeno y Castro (1993), el número de hileras por mazorca estará en dependencia de la longitud, diámetro de la mazorca, la variedad y sobre todo un buen suministro de fertilizantes con lo que aumentará la masa relativa de la mazorca, aumentando el número de hileras.

En el Cuadro 8 se muestra que los resultados del análisis de varianza para esta variable, no tuvieron diferencias significativas respecto a los tratamientos aplicados. Estos resultados concuerdan con estudios realizados por Blessing y Hernández (2009), Castillo y Saravia (2017) donde no encontraron diferencias significativas al evaluar esta variable en ensayos similares; sin embargo, Blandon y Smith (2001) si reportan diferencias significativas en sus ensayos realizados, afirmando que la densidad poblacional está relacionada con el número de hileras por mazorca. Es probable que el incremento del rendimiento por aplicación de nitrógeno, depende más del aumento de la longitud de la mazorca que del grosor de la misma.

Cuadro 8. Efecto de las dosis de nitrógeno aplicadas en la variable número de hileras por mazorca

Tratamientos (kg N ha ⁻¹)	\bar{X}
n₃: 125	13,89 a
n₁: 75	13,39 a
n₂: 100	13,22 a
n₀: 0	13,11 a
ANDEVA	NS
C.V %	6,20

NS: no hay significancia

4.2.3 Peso de 1000 semillas

El peso del grano está determinado por la variedad utilizada, por la materia orgánica fotosintetizada y las condiciones de traslado de materia orgánica a los granos, así como el llenado de estos, lo que a su vez está determinado por la eficacia de los procesos desarrollados por las hojas, tallos; también por la nutrición mineral, las condiciones hídricas durante el llenado de granos (Blandón y Smith, 2001).

El peso del grano muestra la capacidad de la planta de trasladar nutrientes acumulados durante su desarrollo vegetativo al grano en la etapa reproductiva, su movilización contribuye al rendimiento en una producción que difiere con las variables y las condiciones del medio ambiente.

Somarriba (1997), afirma que, durante el llenado de grano, el principal efecto de la sequía es reducir el tamaño de estos. Al presentar la planta su período de floración, dos semanas antes o dos semanas después de la emisión de estigmas, el maíz es muy sensible al estrés hídrico, afectado el peso del grano si se produce sequía durante este período.

El análisis estadístico para el peso de mil semillas, no mostró diferencias significativas entre los tratamientos estudiados. Iguales resultados son reportados por Rivera y Morales (1997), este comportamiento se debe probablemente a que el peso de mil semillas está influenciado

además de la presencia de N, por la disponibilidad de agua que la planta demanda durante el período de llenado del grano (Blandón y Smith, 2001).

Cuadro 9. Efecto de las dosis de nitrógeno aplicadas en la variable peso de 1000 semillas (g)

Tratamientos (kg N ha ⁻¹)	g
n₃: 125	266 a
n₁: 75	249 a
n₂: 100	242 a
n₀: 0	239 a
ANDEVA	NS
C.V %	7,51

NS: no hay significancia.

4.2.4 Biomasa total

La generación de biomasa aérea del cultivo del maíz, dependen de la cantidad de radiación fotosintéticamente activa, así como de la humedad y la disponibilidad de nitrógeno en el suelo (Wojcik, 2001).

De acuerdo al Análisis de Varianza, se encontró que la fertilización nitrogenada ejerce efecto altamente significativo sobre esta variable. El tratamiento tres (125 kg ha⁻¹) produjo la mayor biomasa total respecto a los restantes con, un rendimiento promedio de 7131 kg ha⁻¹ de materia seca como se observa en el Cuadro 10. Este valor alcanzó el 93 % sobre el tratamiento testigo. Se ha reportado que al existir mayor disponibilidad de N en el suelo, se estimula el crecimiento radical y consecuentemente un mayor desarrollo de la parte aérea y por lo tanto mayor biomasa (Menezes *et al.*, 2013). Así mismo lo confirman González *et al.* (2016), en donde obtuvieron un mayor rendimiento de biomasa total con altas dosis de nitrógeno.

Cuadro 10. Efecto de las dosis de nitrógeno aplicadas en la variable biomasa total

Tratamientos (kg N ha ⁻¹)	kg ha ⁻¹
n₃: 125	7131,33 a
n₁: 75	5203,67 b
n₂: 100	5085,67 b
n₀: 0	3693,33 c
ANDEVA	**
C.V %	8,67

******: efecto altamente significativo

4.2.5 Rendimiento del grano

El incremento de los rendimientos depende del uso de fertilizantes, de híbridos o variedades mejoradas, que dan a la planta mayor resistencia a plagas y enfermedades. Ponce (1991); citado por Martínez y Pérez (2004), afirma que el rendimiento en el grano en el maíz está relacionado con la aplicación de fertilizantes, aporte de húmedo, densidad poblacional, y el potencial de rendimiento de la variedad.

Escalante (1999) menciona que las plantas al sufrir déficit hídrico durante su etapa reproductiva, limitan la absorción de nutrientes y la producción de fotosintatos para la formación y llenado de la semilla, afectando el rendimiento. Por lo que, la eficiencia de conversión se ve afectada por el agua y la disponibilidad de nutrientes, es por ello que el rendimiento de maíz depende de la cantidad de fotosintatos que se distribuye al grano (Lafitte, 2001).

En resumen, está determinado por muchos factores ambientales y genéticos. El potencial del rendimiento puede definirse como el rendimiento de una variedad en ambientes a los que se ha adaptado, donde no hay limitaciones en cuanto a agua y nutrientes, y donde las plagas, malezas y enfermedades y otros factores negativos se controlan con eficacia (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, 1998).

En el análisis de varianza (ANDEVA) para el rendimiento del grano mostró diferencias altamente significativas, lo cual indica que a mayor dosis de fertilizante nitrogenado mayor

rendimiento del grano, el tratamiento tres con 125 kg de N ha⁻¹ es el que presentó mayor media de rendimiento del grano, superando al tratamiento cero (testigo) con una diferencia de 2,246 kg ha⁻¹. Estudios realizados por Camacho y Bonilla (1999), y Blessing y Hernández (2009) muestran diferencias significativas en sus resultados, presentando mayores rendimientos con las dosis de nitrógeno más altas.

Estos resultados concuerdan con lo dicho por Uhart y Andrade (1995), quienes informaron que las deficiencias de nitrógeno pueden reducir los rendimientos, porque el peso del grano decrece cuando disminuye las fuentes de asimilación durante el período de llenado.

Cuadro 11. Efecto de las dosis de nitrógeno aplicadas en la variable rendimiento del grano

Tratamientos (kg N ha⁻¹)	kg ha⁻¹
n₃: 125	6119 a
n₂: 100	4940 b
n₁: 75	4198 bc
n₀: 0	3873 c
ANDEVA	**
C.V %	6,70

******: efecto altamente significativo

4.2.6 Porcentaje de nitrógeno en la biomasa

El nitrógeno permite el crecimiento vegetativo y reproductivo de las plantas, no solo por estar involucrado en la captación de la energía solar, sino también en la distribución y síntesis de moléculas que participan en el crecimiento celular (Villalobos, 2001). Según Fuentes (1994), el nitrógeno en menor proporción con relación al contenido total, también se encuentra en las plantas en formas inorgánicas (compuestos amónicos, nitratos y nitritos) aumentando esta proporción cuando se presentan anomalías en el metabolismo que dificultan la síntesis de proteínas.

El análisis estadístico realizado para el porcentaje de nitrógeno determina que existe efecto significativo (Cuadro 12). Se observó que hubo mayor concentración de nitrógeno en los tratamientos dos y tres (0,47 %) con una gran diferencia respecto a los tratamientos con

niveles más bajos de N (0 y 75 kg N ha⁻¹), esto cumple con lo mencionado por Demolón (1975) que el nitrógeno es un elemento necesario para la multiplicación celular y desarrollo de órganos verdes, el aumento de nitrógeno en la biomasa aumenta a medida que aumentan las aplicaciones de nitrógeno. Estudios realizados por Galarza *et al.* (s.f) muestran resultados superiores a los obtenidos que oscilan entre 1,01 y 1,26% entre tratamientos no fertilizados y fertilizados, igualmente Ferraris *et al.* (2007) publicaron valores superiores a los obtenidos, siendo estos entre 1 y 1,30%. Se presume que esto se debe a la diferencia de variedades y los ambientes de estudio, lo que genera una diferencia entre los resultados.

Cuadro 12. Efecto de las dosis de nitrógeno aplicadas en la variable % de nitrógeno en la biomasa

Tratamientos (kg N ha ⁻¹)	\bar{X}
n₂: 100	0,47 a
n₃: 125	0,47 a
n₁: 75	0,38 ab
n₀: 0	0,32 b
ANDEVA	*
C.V %	11.42

*: efecto significativo

4.2.7 Porcentaje de nitrógeno en grano

Según Miflin (1976); citado por Calrson (1990), el contenido de nitrógeno en el grano depende de varios factores entre ellos la capacidad de las plantas para traslocar nitrógeno acumulado en su parte vegetativa a la semilla durante el desarrollo de la misma.

El análisis de varianza, reflejó diferencias altamente significativas para los tratamientos, lo que indica, que las aplicaciones nitrogenadas influyen en el porcentaje de nitrógeno en el grano, donde el tratamiento tres con 125 kg N ha⁻¹ obtuvo mayor concentración de nitrógeno en el grano en comparación con los demás tratamientos.

Sánchez (2016) en su estudio de nitrógeno total y derivado del fertilizante del maíz, presentó resultados de contenido de N (%) en los granos que oscilaron entre 1,3 y 2.0 % entre los tratamientos no fertilizados y fertilizados. Estos valores son superiores a los registrados por otros autores (Rimski-Korsakov *et al.*, 2006), que publicaron valores entre 0,95 y 1,31 % entre los tratamientos no fertilizados y fertilizados respectivamente.

Estudios realizados por Uhart (1995) demuestran que las deficiencias de N reducen el porcentaje nitrógeno en el grano a través de la merma en la materia seca total.

Cuadro 13. Efecto de las dosis de nitrógeno aplicadas en la variable % de nitrógeno en el grano

Tratamientos (kg N ha ⁻¹)	\bar{X}
n₃: 125	2,03 a
n₁: 75	1,46 b
n₂: 100	1,42 b
n₀: 0	1,34 b
ANDEVA	**
C.V %	9.85

** : efecto altamente significativo

4.3 Uso eficiente del nitrógeno

Según Stewart (2007), los conceptos de uso eficiente de nutrientes o fertilizantes generalmente describen que tan bien usan los nutrientes las plantas o un sistema de producción. La eficiencia puede verse a corto o largo plazo y puede basarse en el rendimiento, recuperación o remoción de nitrógeno.

El **Factor de Productividad Parcial (FPP)** nos indica que tan productivo es el sistema de producción en comparación con la dosis de N aplicado. El Cuadro 14 muestra que en el FPP existen diferencias significativas resultando 2 categorías estadísticas siendo la dosis de 75 kg N ha⁻¹ con 55,98 kg de grano por kg de N aplicado, es decir el tratamiento con el que más grano se produce por kg de N aplicado. Estos valores están dentro de los rangos publicados por Tasistro (2013) que oscilan entre 40 a 80 kg de grano por kg de N aplicado, también indica que este tratamiento mostró una mejor productividad que los demás. Este factor refleja claramente que existe una tendencia relacionada a la ley de la fertilización de los rendimientos decrecientes que dice que cuando la dosis se incrementa gradualmente, el rendimiento decrece.

La **Eficiencia agronómica (EA)** se refiere al aumento en rendimiento de grano por cada unidad de nutriente aplicado. A diferencia del FPP, esta nos indica cuanto se ganó en productividad por cada kg de N aplicado y se aproxima más a la eficiencia de uso del N aplicado, porque este no considera el nitrógeno nativo que proviene de la descomposición de la materia orgánica y que se refleja en el rendimiento obtenido sin la aplicación de N.

Se puede observar en el mismo Cuadro 14 que los resultados de EA presentaron diferencias altamente significativas separándose en 3 categorías estadísticas, siendo la dosis de 125 kg N ha⁻¹ la que obtuvo la mejor EA con un incremento en el rendimiento de 17,97 kg de grano por cada kg de N aplicado. Este resultado está dentro de los rangos publicados por Stewart (2007), que oscilan de 10-30 kg de grano por kg de N, asegurando que si hubo una ganancia adecuada en productividad por el uso del N. Sin embargo, los resultados de la dosis de 75 kg N ha⁻¹ no están dentro del rango, catalogándose con baja EA, esto resulta así cuando los niveles de N nativos son lo suficientemente altos y rápidamente disponibles para obtener buenos rendimientos.

La **Eficiencia de Recuperación (ER)** representa la cantidad de N aplicado (fertilizante), que es extraído por la parte aérea o cosechada de la planta y se utiliza como un indicador de la disponibilidad de N (Stewart, 2007). En otras palabras, nos indica cuanto del nutriente aplicado fue removido por la planta.

En el Cuadro 14 se observa que hay diferencias significativas respecto a las dosis en la ER, la dosis de 125 kg N ha⁻¹ muestra mayor recuperación de N en la planta, es decir, la planta recuperó 0,75 kg de N por cada kg de N aplicado. Por ende, al haber más N disponible para la planta, esta pudo recuperarlo en mayores cantidades. Por otra parte, en el mismo cuadro se muestra que a menor dosis, menos cantidad de N se recuperó. En sistemas con un manejo optimo la ER oscila de 0.5 a 0.8 kg de N en la planta por cada kg de N aplicado (Snyder, 2009).

Según Tasistro (2013) la **Eficiencia de uso Interna (EI)** refleja la eficiencia con la que la planta transforma nutrientes provenientes de fertilizantes y de las reservas del suelo, en rendimiento económico (aumento en la producción). En el Cuadro 14 se observa que no hubo diferencias significativas, sin embargo, las dosis de 100 y 75 kg N ha⁻¹ obtuvieron una EI de 52 kg de grano de maíz por kg de N en la parte aérea de la planta, (estos valores se aproximan a los rangos descritos por Tasistro) siendo superior a la mayor dosis (125 kg N ha⁻¹). Esto se debe a que las plantas con menor dosis, usaron además del N aplicado las reservas del suelo para transformarlo en rendimiento económico, por lo tanto, hay una mejor eficiencia; sin embargo, la dosis de 125 kg N ha⁻¹ obtuvo una baja eficiencia, probablemente a que la mayor parte del N transformado pudo provenir del fertilizante al estar más disponible para la planta.

Valores de referencia para **EI** descritos por Tasistro (2013), muestran que de 55 a 65 kg de grano de maíz por kg de N en la parte aérea son los rangos óptimos para la nutrición balanceada con altos rendimientos, es decir, una mayor producción expresada en kg ha⁻¹.

La **Eficiencia Fisiológica (EF)** refleja la eficiencia con que la planta transforma nutrientes provenientes de fertilizantes en rendimiento económico, en ocasiones esta eficiencia se conoce como Eficiencia Biológica y depende de las características de la especie y la disponibilidad del nitrógeno; a diferencia de la EI, la EF representa los kg de aumento de producción por kg incrementado en la absorción de N, en cambio la EI representa kg de producción por kg de nutriente absorbido.

Para el maíz se puede asumir una media de 40 kg de grano por kg de nitrógeno absorbido en toda la planta. En el Cuadro 14 se puede observar que no existen diferencias significativas para esta variable, es decir, los diferentes tratamientos no tuvieron efectos sobre el rendimiento económico, o sea que, a mayor dosis, no hubo mayor absorción, por ende, la transformación de N en rendimiento disminuye, esto se debe a que la EF varía con genotipo, ambiente y manejo.

Balance Parcial de Nutrientes (BPN) es la relación entre la cantidad de nutriente removido en la parte cosechada del cultivo y la cantidad de nutriente aplicado, el objetivo principal de esta medición de eficiencia es determinar qué tan cercano está el sistema a un valor de 1. Un valor de BPN cercano a 1 indica que existe un balance de masa (aplicación del nutriente a una unidad de superficie aproximadamente igual a la remoción de esa misma superficie). Sin embargo, un BPN de 1 no garantiza que el contenido del nutriente en el suelo, permanezca constante o cambie con las aplicaciones hechas (Espinoza & Fernando, 2009).

En el Cuadro 14 se observa que no hay diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo, el BPN que más se acerca a 1 es el obtenido con 125 kg ha⁻¹ de 0,99 kg de Nitrógeno en grano por kilogramo de nitrógeno aplicado, por lo tanto, el sistema está balanceado. Snyder (2009) establece que los valores ideales para el BPN oscilan entre 0,7 y 0,9, sin embargo, para lograr un valor igual o mayor a 1 se tiene que aumentar las reservas de nutrientes en el suelo.

Cuadro 14. Valores de los índices agronómicos del uso eficiente del Nitrógeno

Tratamiento (kg N ha ⁻¹)	FPP	EA	ER	EF	EI	BPN
75	55,98 a	4,34 c	0,24 b	35,55 a	52,71 a	0,82 a
100	49,40 b	10,67 b	0,31 b	36,18 a	52,85 a	0,70 a
125	48,95 b	17,97 a	0,75 a	23,56 a	38,94 a	0,99 a
ANDEVA	*	**	*	NS	NS	NS

FPP: Factor Parcial de Productividad, **EA:** Eficiencia Agronómica, **ER:** Eficiencia de Recuperación; **EF:** Eficiencia Fisiológica; **EI:** Eficiencia Interna de utilización, **BPN:** Balance Parcial de Nutrientes.

4.3.1 Incremento del rendimiento del grano entre tratamiento

En el Cuadro 15 se observa que los resultados del uso del cultivo por los 3 niveles de aplicación de nitrógeno evaluados, mostrando que existe respuesta positiva, al incrementar su rendimiento con respecto a los tratamientos. Se puede observar que a medida que aumentan las dosis del nitrógeno, aumentan los rendimientos en el grano, es decir más kg ha⁻¹ de grano a mayor dosis.

Cuadro 15. Incremento de rendimiento de grano por tratamiento en porcentaje y kilogramos por hectárea

Tratamiento (kg N ha⁻¹)	Rendimiento (kg ha⁻¹)	Incremento del rendimiento (%)	Incremento del rendimiento (kg ha⁻¹)
n₀: 0	3873		
n₁: 75	4198	8	325
n₂: 100	4940	27	742
n₃: 125	6119	58	1179

4.3.2 Dosis óptima económica (DOE)

La dosis óptima económica de N, es aquel nivel de N por encima del cual mayores aplicaciones de N no redundarán en un beneficio económico (Nelson *et al.*, 1985). En la Figura 2 se puede observar que el modelo de regresion Esferica-Plateau muestra la mejor DOE, donde estiman un rendimineto óptimo de 5,199 kg ha⁻¹ con una aplicación de 100 kg N ha⁻¹, diferenciandose por 259 kg ha⁻¹ con los valores observados (rendimiento del ensayo); de igual forma se puede observar que con los otros modelos se predicen rendimientos un poco mas altos, pero se corresponden tambien a dosis mas altas, lo que concuerda con la ley de Mitscherlich de los aumentos decrecientes.

	Media ponderada por R ²	Cuadrática (Q)	Cuadrática-Plateau (QP)	Mitscherlich (M)	Lineal-Plateau (LP)	Esférica-Plateau (SP)	Valor observado
DOE (kg N ha ⁻¹)	129	135	135	134	135	100	n ₀ : 3873 n ₁ : 4198
Rendimiento DOE (kg ha ⁻¹)	5537	5737	5737	5488	5737	5199	n ₂ : 4940 n ₃ : 6119

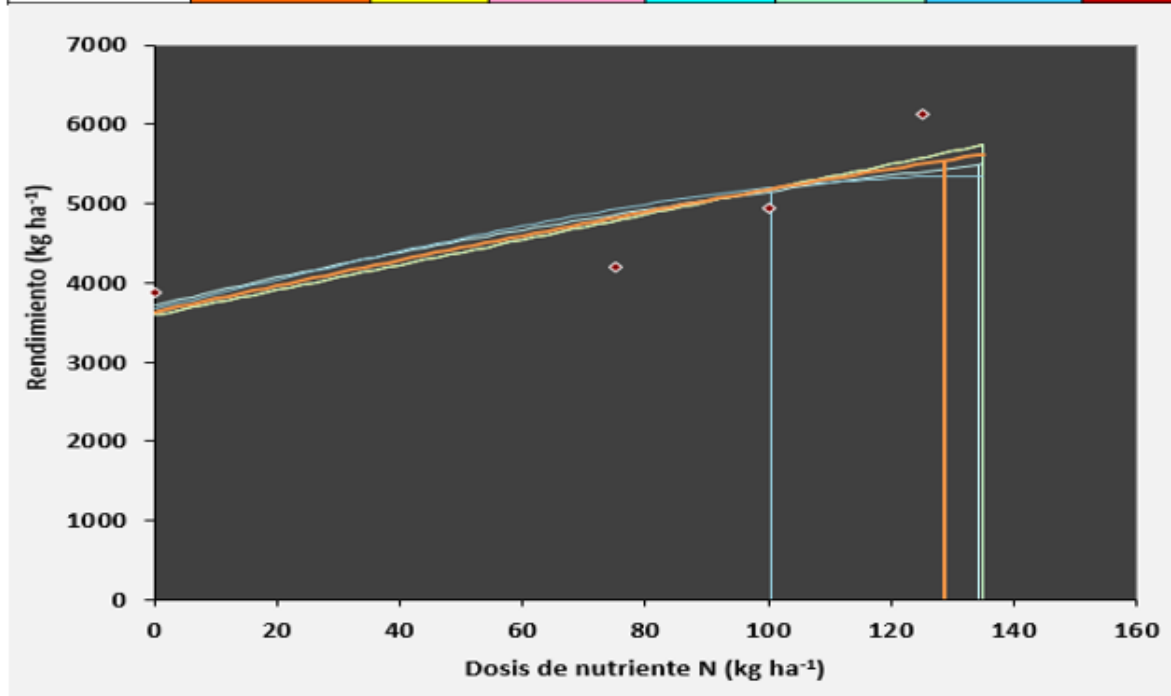


Figura 2. Estimación de dosis óptima económica con diferentes modelos de regresión.

V. CONCLUSIONES

- Las variables de crecimiento no fueron afectadas por la fertilización aplicada a los tratamientos evaluados. En cambio en el rendimiento se observó un incremento significativo al aumentar la dosis de aplicación de nitrógeno entre tratamientos, obteniendo mayores resultados con la aplicación de 125 kg N ha^{-1} .
- Los contenidos de N en biomasa y grano, incrementaron a medida que las dosis de fertilizante nitrogenado aumentaron en los tratamientos evaluados, con valores mayores cuando se aplicó 125 kg N ha^{-1} .
- Al evaluar el uso eficiente del nitrógeno, los índices Eficiencia Agronómica y de Recuperación incrementaron a mayores aplicaciones de fertilización (125 kg N ha^{-1}), y el índice Factor Parcial de Productividad fue mayor cuando se aplicó (75 kg N ha^{-1}). Sin embargo, los índices Eficiencia Fisiológica, Eficiencia Interna de utilización y Balance Parcial de Nutrientes no fueron afectados por las dosis de fertilización nitrogenada.
- Para las condiciones de la zona, la máxima optimización del rendimiento en maíz, se logra cuando se aplica una dosis de fertilizante nitrogenado de 100 kg N ha^{-1} , según parámetros evaluados en el modelo de regresión esférica-plateau.

VI. RECOMENDACIONES

- Para obtener altos rendimientos y una buena eficiencia de la fertilización, recomendamos la aplicación de 125 kg N ha⁻¹ con la variedad SEMSA Tepeyac, en condiciones similares a las del área de estudio.
- Una fertilización alternativa puede ser la estimada por la dosis óptima económica donde predice buenos rendimientos y una buena eficiencia de la fertilización con la aplicación de 100 kg N ha⁻¹.
- Repetir este estudio utilizando la DOE en la misma localidad para validar la estimación del modelo esférico-plateau.
- Evaluar otras variables como el índice de área foliar para mejorar los resultados de biomasa.

VII. LITERATURA CITADA

- Arzola, P. N., Fundora, H. O. y Machado, A. J. (1981). *Suelo, planta y abonado*. La Habana, Cuba: Pueblo Educación. 461 p.
- Below, F. E. (1995). Nitrogen metabolism and crop productivity. In: Pressarakli, M. (ed.) *Handbook of Plant and Crop Physiology*. New York: Marcel Dekkar, Inc., p.275-301. Recuperado de [https://books.google.es/books?id=wmMHEuXEb4UC&lpg=PA385&ots=jS-BWtiPil&dq=Below%2C%20F%20E.%201995.%20Nitrogen%20metabolism%20and%20crop%20productivity.%20In%3A%20Pressarakli%2C%20%20M.%20\(ed.\)%20Handbook%20of%20Plant%20and%20Crop%20Physiology%20.%20New%20%20York%3A%20Marcel%20Dekkar%2C%20Inc.%2C%20p.275-301&lr&hl=es&pg=PA385#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?id=wmMHEuXEb4UC&lpg=PA385&ots=jS-BWtiPil&dq=Below%2C%20F%20E.%201995.%20Nitrogen%20metabolism%20and%20crop%20productivity.%20In%3A%20Pressarakli%2C%20%20M.%20(ed.)%20Handbook%20of%20Plant%20and%20Crop%20Physiology%20.%20New%20%20York%3A%20Marcel%20Dekkar%2C%20Inc.%2C%20p.275-301&lr&hl=es&pg=PA385#v=onepage&q&f=false)
- Below, F. E. (2002). Fisiología, nutrición y fertilización nitrogenada de maíz. *Instituto de la Potasa y el Fósforo. Informaciones. Agronómicas*, (54), 3-9. Recuperado de [http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/EED445602FD388C005256F34006A2495/\\$file/Fisiologia,+nutrici%C3%B3n+y+fertilizaci%C3%B3n+nitrogenada+del+ma%C3%ADz.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/EED445602FD388C005256F34006A2495/$file/Fisiologia,+nutrici%C3%B3n+y+fertilizaci%C3%B3n+nitrogenada+del+ma%C3%ADz.pdf)
- Biblioteca Virtual en Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. (15 de abril de 2017). *Caracterización Municipal de Yalaguina*. Obtenido de http://www.bvsde.org.ni/Web_textos/INIFOM/CDdeCaracterizaciones/Caracterizaciones/Madriz/Yalaguina.html
- Blandón Garmendia, E.J., y Smith Marriaga, A. Z. (2001). *Efecto de diferentes niveles de nitrógeno y densidades de siembra sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (Zea mays L.) var. NB-6* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria, UNA). Recuperado de <http://repositorio.una.edu.ni/1787/1/tnf04b642.pdf>
- Blessing Ruíz, D. M., Hernández Morrison, G. T. (2009). *Comportamiento de variables de crecimiento y rendimiento en maíz (Zea mays L.) Var. NB-6 bajo prácticas de fertilización orgánica y convencional en la finca El Plantel. 2007-2008*. (Tesis de

- Pregrado). Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria. Recuperado de <http://repositorio.una.edu.ni/2090/1/tnf01b647.pdf>
- Camacho, J., y Bonilla, R. (1999). *Efecto de tres niveles de nitrógeno y tres densidades poblacionales sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento en el cultivo de maíz (Zea mays L.) Var NB-6*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria: Managua, Nicaragua.
- Carlson, P. S. (1990). *Biología de la productividad de los cultivos*. AGT Editor. México. 239p.
- Carrasco Rivera, L. C., y Pineda Jiménez, L. S. (2009). *Evaluación de ocho genotipos de maíz (Zea mays L.) de polinización libre y tres tipos de fertilización en El Castillito, Las Sabanas, Madriz* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria, UNA). Recuperado de <http://repositorio.una.edu.ni/2105/1/tnf30c313.pdf>
- Centeno, J. y Castro, J. (1993). *Influencia de los cultivos antecesores y métodos de control de malezas sobre la cenosis de las malezas y crecimiento, desarrollo y rendimiento de cultivos de maíz (Zea mays L.) y sorgo (Sorghum bicolor L. Moench.)*. (Tesis de pregrado). Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria. Recuperado de <http://repositorio.una.edu.ni/1526/1/tnh60c397.pdf>
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (1998). *La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos*. Recuperado de <http://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/1063/9031.pdf>
- CIMMYT (1995). *Manejo de los ensayos e informe de los datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz del CIMMYT*. Recuperado de <http://libcatalog.cimmyt.org/Download/cim/68309.pdf>
- Córdoba, J. A., Salcedo, E., Rodríguez, R., Zamora, J. F., Manríquez, R., Contreras, H., y Delgado, E. (2013). Caracterización y valoración química del olote: degradación hidrotérmica bajo condiciones subcríticas. *Revista latinoamericana de química*, 41(3). Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rlq/v41n3/v41n3a4.pdf>

- De-Menezes, L., Ronsani, R., Pavinato, P., Biesek, R., Da-Silva, C., Martinello, C. y Da-Silveira, M. (2013). Produção, valor nutricional e eficiências de recuperação e utilização do nitrogênio de silagens de milho sob diferentes doses de adubação nitrogenada. *Semina: Ciências Agrárias*. 34:1353-1362 p.
- Demolón; A. (1975). *Principios de agronomía: Crecimiento de los vegetales cultivados*. La Habana, Cuba. 200 p.
- Dobermann, A. (2007). Nutrient use efficiency – measurement and management.. *Fertilizer Best Management Practices*. International Fertilizer Industry Assoc.: Paris, France.
- Escalante Estrada, J. (1999). Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra Latinoamericana*. Recuperado de <https://chapingo.mx/terra/contenido/17/2/art149-157.pdf>
- Espinoza, J., y Fernando, G.(2009). *Uso eficiente de Nutrientes*. Obtenido de [http://mca.ipni.net/ipniweb/region/mca.nsf/0/FEA5023FE238A83F85257C16005D1832/\\$FILE/EUN.pdf](http://mca.ipni.net/ipniweb/region/mca.nsf/0/FEA5023FE238A83F85257C16005D1832/$FILE/EUN.pdf)
- Ferraris, G., Couretot, L., Toribio, M., y Falconi, R. (2007). *Efecto de diferentes estrategias de fertilización en maíz sobre el rendimiento y balance de nutrientes en el noroeste de la Pcia. De Buenos Aires*. Recuperado de <http://www.profertilnutrientes.com.ar/archivos/efecto-de-diferentes-estrategias-de-fertilizacion-en-maiz---200607>
- Fuentes, J. L. (1994). *El suelo y los fertilizantes*. Madrid, España: Mundi-prensa. 121-122 p
- Galarza, C., Vallone, P., Gudelj, V., Cazorla, C., y Baigorria, T. (s.f.). *Caracterización se rastros en sistemas agrícolas estabilizados*. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-caracterizacin_de_rastros_en_sistemas_agrcolas.pdf
- González, A., Figueroa, U., Preciado, P., Núñez, G., Luna, J., y Antuna, O. (2016). Uso eficiente y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero en suelos diferentes. *Ciencias Agrícolas*, 7(2), 301-309. Recuperado de

<http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/editorial/index.php/agricolas/article/download/345/264>

InfoStat (2009). InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. (2006). *Estudio del suelo del departamento de Madriz*. Obtenido de http://www.ineter.gob.ni/Ordenamiento/files/suelos_madriz.pdf

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. (2017). *Resumen meteorológico anual de Condega*. Managua, Nicaragua

Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. (2000). *Manejo Integrado del Cultivo del Maíz*. Managua, Nicaragua: Gráfica Editores. Obtenido de <http://www.bionica.info/biblioteca/INTA-OPSNicaragua2000MIPmaiz.pdf>

Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. (2010). *CULTIVO DEL MAÍZ GUIA TECNOLÓGICA PARA EL CULTIVO DE MAÍZ (Zea mays L.), segunda*. Managua, Nicaragua: Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. Obtenido de <http://www.inta.gob.ni/biblioteca/images/pdf/guias/GUIA%20MAIZ%202010%202DA%20EDICION.pdf>

Lafitte, H. R. (2001). Fisiología del maíz tropical. En Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H. R. y Violic, A. D. *El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción*. Roma: FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s00.htm#toc>

Lemcoff, J. M., y Loomis, R. S. (1986). Nitrogen influences on yield determination on maize. *Crops Science*, (26). 15-17p.

Martinez Mayorga, M., y Pérez Medina, M. (2004). *Efecto de tres densidades de siembra y cuatro niveles de fertilización nitrogenada sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del maíz (Zea mays L.) híbrido H-Inta-991, Masatepe, Masaya* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria, UNA). Recuperado de <http://repositorio.una.edu.ni/1919/1/tnf01m385e.pdf>

Mena, T. P., y Delmelle., S. F. (2017). *Informe de la cadena de frijol rojo en Nicaragua*. Obtenido de

<http://www.mific.gob.ni/Portals/0/Portal%20Empresarial/InformeFinalCadenaDeFrijolNicaragua.pdf>

Montserrat, P., y Villar, L. (1995). *Los agroecosistemas*. Recuperado de http://digital.csic.es/bitstream/10261/54409/1/153_Agroecosistemas.pdf

Nelson, L.A., Voss, R.D., & Pesek, J. (1985). Agronomic and statistical evaluation of fertilizer response. In: OP Engelstad (ed.) *Fertilizer technology and use*. (Pp 53-90). ASA: Madison, USA.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (s.f). *Biodiversidad y servicios de ecosistema*. Obtenido de <http://www.fao.org/agriculture/crops/mapa-tematica-del-sitio/theme/biodiversity0/es/>

Platas-Rosado, D. E., Vilaboa-Arroniz, J., y William-Campbell, B. (2016). Una aproximación dialéctica a los agro ecosistemas. *Agro productividad*, 9(12). Recuperado de <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=13&sid=5826e6f1-1520-46bf-b4c5-3cdf3acdce4d%40pdc-v-sessmgr01>

Rivera, S. D., y Morales, R. J. (1997). *Efecto de diferentes niveles de nitrógeno, fraccionamiento y momento de aplicación, sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del maíz (Zea mays L.) Var NB-12*. (Tesis de Pregrado). Instituto superior de Ciencias Agropecuarias: Managua, Nicaragua.

Robledo Olivo, A., Aguilar, C. N., y Sáenz, J. C. (2012). *Uso del olote de maíz como sustrato microbiano*. Recuperado de <http://www.posgradoeinvestigacion.uadec.mx/AQM/No.%207/7.html>

Salmerón, F., y García, L. (1994). *Fertilidad y fertilización de suelo*. Universidad Nacional Agraria: Managua, Nicaragua. 142p. Recuperado de <http://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/2804>

Salvagiotti, F., Castellarín, J. M., Ferraguti, F. J., y Pedrol, H. M. (2011). Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz según potencial de producción y disponibilidad de nitrógeno en la región pampeana norte. *Ciencia del suelo*. Recuperado de

http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672011000200009&lng=es&tlng=es.

Sánchez, M. C. (2016). *Nitrógeno Total y Derivado del Fertilizante en Maíz: Influencia de las Labranzas y la Fertilización en un Sistema Agrícola de Secano de Santiago del Estero*. Recuperado de <http://www.fertilizando.com/articulos/Nitrogeno-Total-Derivado-Fertilizante-Maiz.asp>

Snyder, C. (Noviembre de 2009). Eficiencia del uso del nitrógeno: desafíos mundiales, Tendencias Futuras. *Uso Eficiente de nutrientes*. Simposio presentado por el IPNI (International Plant Nutrition Institute) llevado a cabo en el XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica.

Somarriba Rodríguez, C. (1998). *Granos básicos: texto básico*. Recuperado de <http://repositorio.una.edu.ni/2704/1/NF01S693g.pdf>

Stangel, P.J. (1984). *Situación mundial del nitrógeno, tendencias, perspectivas y requisitos*. Recuperado de [http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/EED445602FD388C005256F34006A2495/\\$file/Fisiologia,+nutrici%C3%B3n+y+fertilizaci%C3%B3n+nitrogenada+del+ma%C3%ADz.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/EED445602FD388C005256F34006A2495/$file/Fisiologia,+nutrici%C3%B3n+y+fertilizaci%C3%B3n+nitrogenada+del+ma%C3%ADz.pdf)

Stewart, W. (2007). Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes. *Informaciones Agronómicas*. Recuperado de [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/EC5D7D4A78BB6D6D852579A3006CB4D4/\\$FILE/Consideraciones%20en%20el%20Uso%20Eficiente%20de%20Nutrientes.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/EC5D7D4A78BB6D6D852579A3006CB4D4/$FILE/Consideraciones%20en%20el%20Uso%20Eficiente%20de%20Nutrientes.pdf)

Tasistro, A. (2013). *Eficiencia de uso de nutrientes*. International Plant Nutrition Institute. Recuperado de <http://mca.ipni.net/beagle/MCA-3022&f=eun.ppsx>

Uhart, S. A., and F. H. Andrade. 1995. Nitrogen Deficiency in Maize: II. Carbon-Nitrogen Interaction Effects on Kernel Number and Grain Yield. *Crop Sci.* 35:1384-1389. doi:10.2135/cropsci1995.0011183X003500050021x

Vásquez G., J. y Ruiz G., O. M. (1993). *Influencia de cultivos antecesores y métodos de control de malezas sobre la cenosis de las malezas, crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos de maíz (Zea mays L.), Sorgo (Sorghum bicolor (L.),*

Moench) y *Pepino* (*Cucumis sativus* L.). Tesis de pregrado. UNA Managua-Nicaragua. P 75.

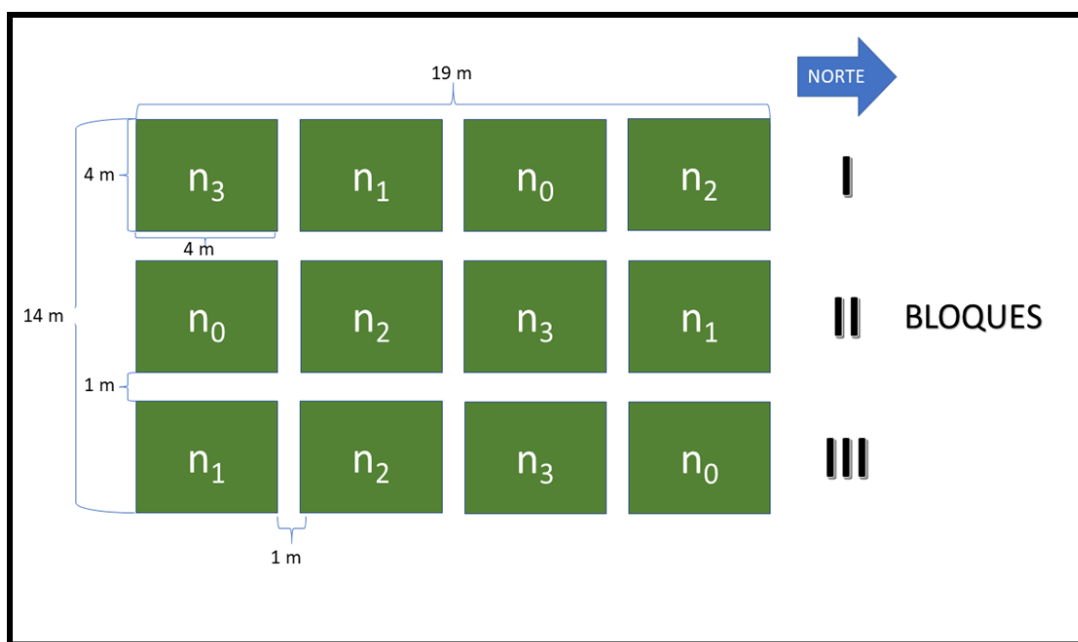
Vásquez Videa, A. E., Umanzor, B., y David, N. (2016). *Variación fenotípica y correlación de rendimiento con características morfo-agronómicas en una población de maíz (Zea mays L.) variedad NB-6 en la época de primera, Sábana Grande, Managua, 2014*. (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria). Recuperado de <http://repositorio.una.edu.ni/3358/1/tnf40v335.pdf>

Vaz Pereira, D. J. C. J. y Leyva Galán, Á. (2015). Período crítico de competencia de las arvenses con el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Huambo-Angola. *Cultivos Tropicales*, 36(4). Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v36n4/ctr02415.pdf>

Villalobos, E. (2001). *Fisiología de los cultivos tropicales*. San José, Costa Rica. 203 p.

Wojcik, P. (2001). Ecological impact of nitrogen fertilization. Poland. *Journal of Fruit and Ornamental plant. Research*. 9(1):117-127 p.

VIII. ANEXOS



Anexo 1. Plano de campo del diseño experimental



Anexo 2. Cultivo de maíz, var. SEMSA TEPEYAC a los 35 dds.



Anexo 5. Cultivo de maíz, var. SEMSA TEPEYAC a los 35 dds con Don Tomas Cruz.



Anexo 3. Toma de datos a los 84 dds



Anexo 4. Cosecha con su respectivo tratamiento



Anexo 7. Colecta de muestras para análisis de laboratorio



Anexo 6. Limpieza de las muestras para su traslado al laboratorio